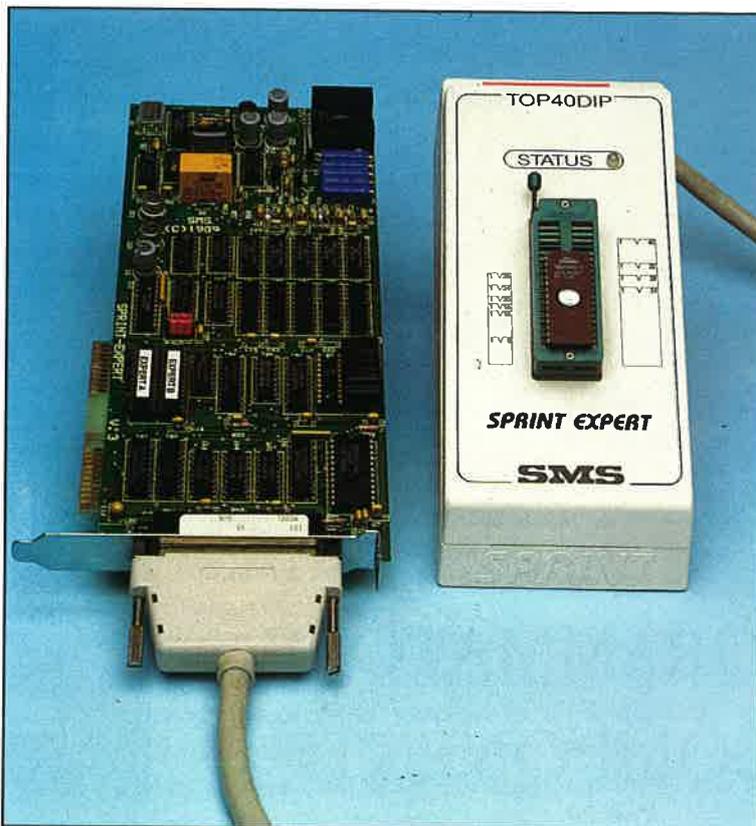
SPEDIZIONE IN ABB. POST.
GRUPPO II/70
ELETTRONICA E PC
L.9.900 Frs.17
43
HARDWARE
E PERIFERICHE
Programmatore
di componenti
programmabili
CORSO
DI ELETTRONICA
DIGITALE
Il microprocessore
nel PC
REALIZZAZIONI
PRATICHE
Analizzatore Logico
(modulo di controllo)
JACKSON
LIBRI

PROGRAMMATORE DI COMPONENTI PROGRAMMABILI

La grande flessibilità dei PC ha consentito la loro trasformazione in strumenti insostituibili anche nel laboratorio; i programmatori di EPROM rappresentano un tipico esempio di questa duttilità.

Negli ultimi anni l'applicazione dei componenti programmabili ha subito una crescita inimmaginabile. Un tipico esempio di questa situazione è dato dalle memorie EPROM, che si trovano in tutti i PC poiché contengono il BIOS. Esistono però molte altre applicazioni nelle quali vengono utilizzate memorie diverse dalle tradizionali EPROM, come le matrici logiche programmabili e i microcontroller che richiedono apparecchiature specifiche per la loro programmazione. Ovviamente, se esistono questi particolari tipi di componenti devono esistere anche le apparecchiature di laboratorio che ne consentano la programma-

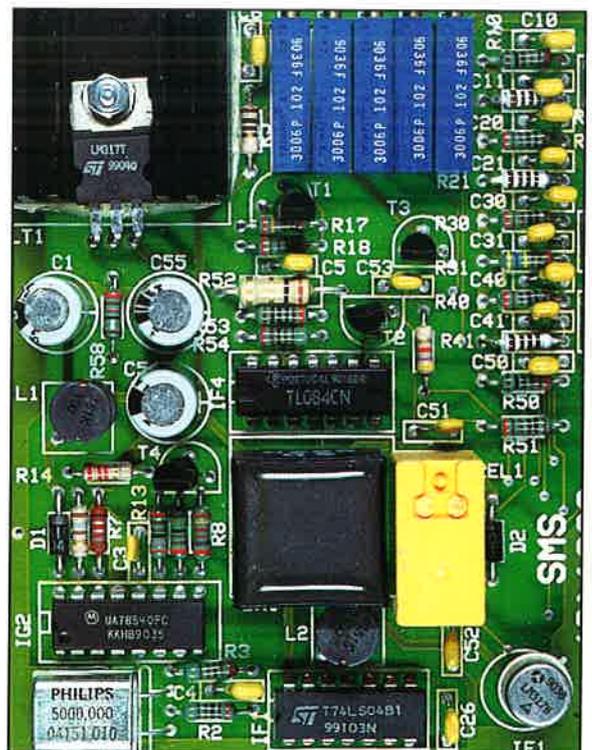
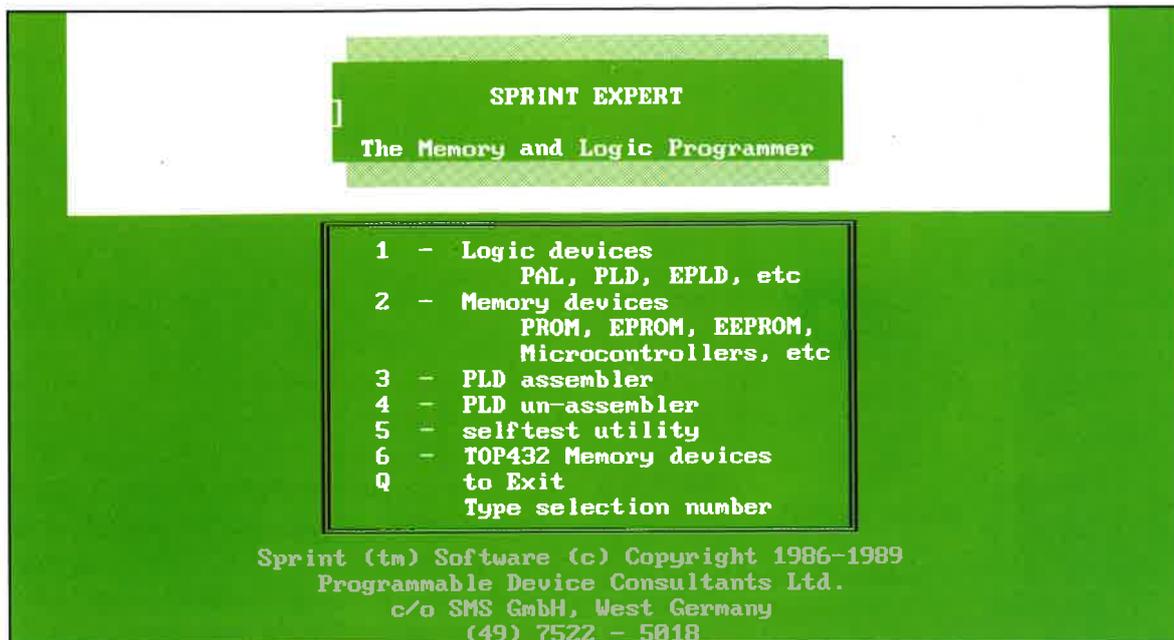
Questo programmatore funziona con qualunque PC

Hardware del dispositivo SPRINT

zione, anche se risultano molto scomode da utilizzare. Queste infatti, devono sempre essere interfacciate con l'adattatore relativo al tipo e al modello di componente che si vuole programmare, le cui caratteristiche sono indicate nel manuale tecnico del dispositivo di programmazione. Dopo aver eseguito l'interfacciamento, è necessario fornire all'apparecchiatura l'informazione che deve essere memorizzata. Per realizzare questa funzione le apparecchiature più moderne sono dotate di una unità per floppy disk, mentre quelle più tradizionali utilizzano una interfaccia RS232 per lo scambio dei dati. In quest'ultimo caso, e in funzione delle dimensioni del file da trasferire, possono essere necessari anche alcuni minuti per completare l'operazione di programmazione. Nei programmatori di componenti di più recente produzione basati sui PC, è possibile evitare tutti questi inconvenienti, per cui hanno letteralmente soppiantato qualsiasi altro modello da laboratorio. In questo capitolo viene esaminato il dispositivo SPRINT EXPERT, che rappresenta uno dei programmatori di componenti più diffusi e prestigiosi tra quelli presenti in commercio. Questo programmatore è composto da tre elementi: una scheda che deve essere installata all'interno del calcolatore, un adattatore esterno per collegare il componente da programmare, e il software per il controllo dei primi due elementi.

Le apparecchiature che richiedono l'utilizzo del PC hanno sempre un vantaggio rispetto alle altre: poter sfruttare le potenzialità del personal

CARATTERISTICHE DELL'HARDWARE

La scheda da installare nel PC è di dimensioni medie ed è compatibile con qualsiasi calcolatore PC/XT/AT. Questa è dotata di un oscillatore interno che la rende indipendente dalla frequenza di funzionamento del calcolatore.
Questa scheda è formata da alcuni temporizzatori, un convertitore DC-DC, tre regolatori di tensione, e 5 convertitori digitali/analogici che forniscono le tensioni necessarie per la programmazione ricavate dai 12 V presenti sul bus del PC. Utilizza 16 indirizzi di ingresso/uscita, a partire per default dall'indirizzo 300 esadecimale; quest'ultimo può essere facilmente modificato impostando diversamente i 4 ponticelli di configurazione.

Dettaglio dei convertitori digitali/analogici, dei DC-DC e dei regolatori

Menu principale di SPRINT EXPERT

ADATTATORE ESTERNO

L'adattatore esterno viene collegato alla scheda installata nel PC tramite un connettore sub-D a 37 terminali. Il suo aspetto esterno è simile a quello di una base o di un supporto, sulla cui parte superiore è presente uno zoccolo a forza di inserimento nulla.
Questa parte superiore, detta anche "TOP", può essere separata dal resto e sostituita per consentire l'impiego dei diversi tipi zoccoli. In questo modo è possibile adattare il programmatore al tipo di integrato desiderato.
L'adattatore standard è chiamato "TOP40DIP", ed è costituito da uno zoccolo Dual In Line a 40 terminali che consente la programmazione di tutti i componenti con questo tipo di contenitore e con un numero di terminali compreso tra 8 e 40.
Infatti, l'adattatore è dotato internamente di 20 relè che vengono configurati in funzione delle diverse esigenze tramite il software fornito con l'apparecchiatura. Questa caratteristica è molto interessante poiché consente di evitare frequenti cambi di adattatore e, di conseguenza, rotture di varia natura; ciò che risulta di maggior interesse però, è il fatto che con questa tecnica è possibile evitare l'utilizzo di un adattatore non appropriato. Errori simili si possono invece commettere con apparecchiature dotate di adattatori diversi corrispondenti ai differenti tipi di componenti che devono essere programmati; in alcuni casi esistono numerosi adattatori anche per componenti con lo stesso tipo di contenitore.
Altre caratteristiche addizionali del programmatore SPRINT EXPERT sono la verifica dell'inversione del componente e la prova di continuità. Questi test vengono eseguiti prima di qualsiasi altra operazione che richieda l'alimentazione del componente, e consentono di determinare se quest'ultimo è stato inserito nello zoccolo al contrario o se è stato piegato per errore qualche terminale per cui non fa contatto. Contemporaneamente viene verificato se il numero dei terminali è quello corretto. Queste caratteristiche rendono questo programmatore molto comodo e sicuro da utilizzare; non bisogna dimenticare che per la programmazione dei componenti programmabili vengono spesso utilizzate tensioni superiori ai 20 volt. In queste condizioni un errore dell'utente che il programmatore non è in grado di rilevare può causare la distruzione del componente.
Il suo assorbimento è inferiore ai 10 W, ripartiti tra le alimentazioni a ± 5 V e ± 12 V, per cui prelevare la sua alimentazione direttamente dal PC non rappresenta un problema.

L'utente può rapidamente apprezzare il vantaggio di disporre di uno zoccolo di adattamento "intelligente"

CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE

Il software per gestire SPRINT EXPERT è fornito su dischi a bassa densità (360 Kbyte). La sua instal-

Il software che accompagna SPRINT è caratterizzato dalla semplicità e facilità di utilizzo

Nell'adattatore esterno al PC viene inserito il componente che deve essere programmato

lazione su hard disk è immediata e automatica, in quanto è presente un file .BAT che esegue tutte le operazioni necessarie; al termine di questa lo spazio occupato sul disco rigido è di circa 1,2 Mbyte. Anche se questo elemento può essere trascurato, quando si programmano memorie ad elevata capacità SPRINT utilizza l'hard disk per la memorizzazione temporanea dei dati. Pertanto, minore è lo spazio ancora libero sull'hard disk più limitata risulta la dimensione delle memorie che si possono programmare. Non è richiesta una scheda grafica particolare, come invece è necessaria con altri programmi, poiché il software lavora solamente in modalità testo.

Per avviare il programma è sufficiente digitare:

C:\SPRINT>SPRINT

e sullo schermo appare il menu principale che consente di selezionare la programmazione di un dispositivo logico (PAL, PLD, EPLD, ecc.), di un dispositivo di memoria (PROM, EPROM, EEPROM, microcontroller, ecc.) oppure l'accesso alle diverse utility disponibili.

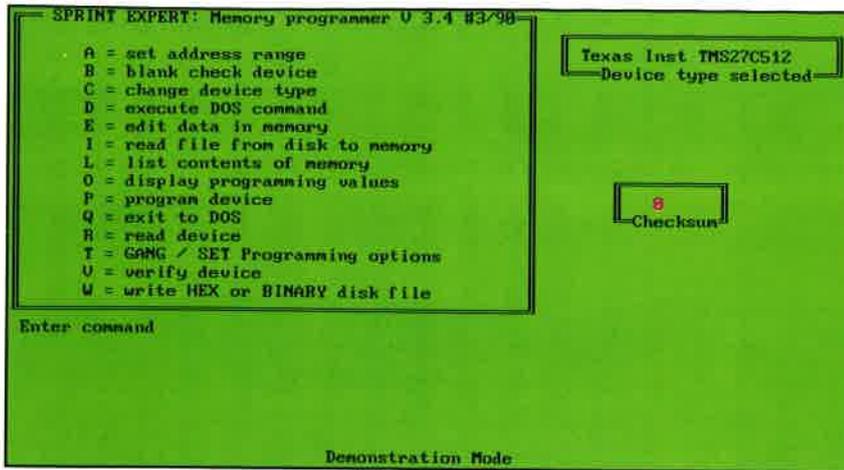
Programmazione di memorie PROM, EPROM, EEPROM, Microcontroller

Quando si seleziona la programmazione di un dispositivo di MEMORIA, SPRINT visualizza immediatamente un lungo elenco di aziende produttrici (circa 37), in modo tale che l'utente può definire con quale modello di memoria sta effettivamente lavorando; questo perché le sequenze richieste per la programmazione possono differire leggermente da un costruttore all'altro. Dopo aver impostato questo parametro viene richiesto il

È molto improbabile che il costruttore della memoria che si deve programmare non compaia nell'elenco di cui è dotato SPRINT

```
                 Sprint  PROM device type selection

   A  = Auto EPROM ID       M  = Hitachi           Y  = RCA
   B  = AMD                 N  = Hughes            Z  = Samsung
   C  = AMD-MMI             O  = Hyundai           F1 = SEEQ
   D  = ASAHI KASEI         P  = ICT               F2 = SHARP
   E  = ATMEL               Q  = Intel             F3 = Signetics
   F  = Catalyst            R  = Matsushita        F4 = STM-SGS
   G  = Cypress             S  = Mitsubishi        F5 = Texas Inst
   H  = Dallas              T  = Motorola          F6 = Toshiba
   I  = EXEL                U  = National Semi     F7 = VLSI Tech
   J  = Fujitsu             V  = NEC               F8 = WaferScale
   K  = GI-Microchip        W  = OKI               F9 = Xicor
   L  = Greenwich           X  = PLUS LOGIC        F10= Xilinx

          Enter vendor code

                  SPRINT EXPERT Copyright (c) 1990
                     SMS GmbH, West Germany
                        (49) 7522 5018
     Press  *  for print-out of all devices supported in V 3.4 #3/90
```

Menu per la programmazione delle memorie

SPRINT accetta i dati in diversi formati binari ed esadecimali

tipo di memoria. Il numero di componenti diversi che l'apparecchio è in grado di gestire è di circa 1000 nei dispositivi dell'ultima generazione. Nella memoria interna dell'apparecchio sono comunque contenute tutte le informazioni necessarie che possono essere richiamate automaticamente.

Dopo aver impostato il tipo di memoria che si desidera programmare SPRINT visualizza sullo schermo il menu relativo alle opzioni di programmazione:

"A-set address range"

Questa opzione consente di selezionare solo una porzione della memoria totale. Qualsiasi operazione eseguita successivamente, come ad esempio la programmazione, inciderà solo questa porzione.

"B-blank check device"

Questa opzione consente di verificare se la memoria è pulita. Viene comunque eseguita automaticamente all'inizio del processo di programmazione.

"C-change device type"

Consente di cambiare il tipo di memoria da programmare/leggere, e viene utilizzata quando il contenuto di una memoria deve essere copiato in un altro dispositivo di diverso tipo.

"D-execute DOS command"

"E-edit data in memory"

Questa opzione consente di esaminare e modificare il contenuto del buffer di memoria esistente nel PC, che successivamente verrà inciso sul dispositivo. La sua struttura a video è simile a quella delle utility PCTOOLS o NORTON per l'editazione di un file esadecimale.

"I-read file from disk to memory"

Consente di caricare un file nel buffer di memoria del PC. Accetta diversi tipi di formati, quali il Binario (opzione di default), l'Hex con spazi, l'Intel Hex, il Tektronix HEX e il Motorola S-Record. Permette inoltre di selezionare parte dei dati del file di ingresso in modi diversi:

- *prelevare solo byte pari o dispari, assumendo che i dati di ingresso siano parole da 16 bit,*
- *prelevare solo i byte 0 o 1 o 2 o 3, assumendo che i dati di ingresso siano parole da 32 bit,*
- *prelevare solo i primi due o gli ultimi due byte di ciascuna parola di ingresso, assumendo che queste siano a 32 bit.*

Queste modalità sono molto utili quando si devono programmare due o quattro EPROM per formare parole da 16 o 32 bit; durante la lettura, ciascuna di queste riporta un byte della parola totale.

"L-list contents of memory"

Con questa opzione viene stampato il listato del contenuto del buffer di memoria.

"O-display programming values"

Consente di esaminare e modificare i parametri di programmazione interni di SPRINT. Le modifiche eseguite non vengono memorizzate.

Editazione dei dati ottenuta con l'opzione "E"

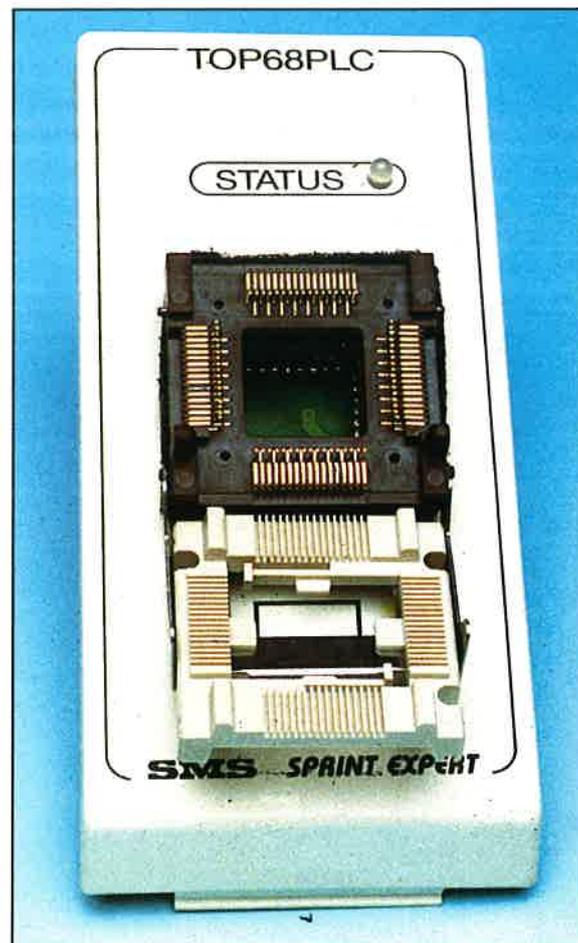
```
                              SPRINT HEX editor
exas Inst TMS27C512                                                      DEMO.COM

0000:  55 AA 10 EB 14 12 45 15  16 56 72 10 17 60 76 87   'U.....E..Vr..hv.'
0010:  60 76 87 16 51 65 87 16  58 71 65 71 65 87 16 58   'hv..Qe..Xqeqe..X'
0020:  71 65 87 16 58 76 10 85  76 10 02 75 60 10 75`60   'qe..Xv..v..u`.u`'
0030:  01 76 58 01 76 58 07 16  58 71 65 08 71 65 80 76   '.vX.vX..Xqe.qe.v'
0040:  15 87 61 87 56 10 76 45  81 76 48 17 46 81 76 50   '..a.V.vE.vH.F.vP'
0050:  87 15 60 87 91 56 81 76  51 76 58 17 65 08 71 65   '..`..V.vQvX.e.qe'
0060:  08 71 60 58 76 10 85 76  10 04 75 68 01 75 60 81   '.q`Xv..v..uh.u`.'
0070:  76 58 01 76 50 81 76 50  81 76 50 87 16 50 87 13   'vX.vP.vP.vP..P..'
0080:  65 08 71 65 08 71 65 08  71 65 08 71 60 58 76 10   'e.qe.qe.qe.q`Xv.'
0090:  87 56 10 87 56 08 17 65  08 17 64 50 81 73 65 08   '.V..V..e..dP.se,'
00A0:  71 64 50 87 16 50 87 16  58 04 71 60 58 76 40 87   'qdP..P..X.q`Xv@.'
00B0:  56 01 87 65 40 81 73 46  58 27 64 59 82 73 65 98   'V..e@.sFX'dY.se.'
00C0:  27 46 59 82 76 59 82 76  59 28 37 56 98 27 56 92   ''FY.vY.vY(7V.'V.'
00D0:  83 75 69 28 75 69 82 37  56 92 87 45 69 82 74 65   '.ui(ui.7V..Ei.te'
00E0:  98 27 46 59 82 76 59 82  76 59 82 76 59 82 73 65   '.'FY.vY.vY.vY.se'
00F0:  98 23 76 59 82 73 64 59  82 73 65 98 23 76 59 82   '.#vY.sdY.se.#vY.'

     <ESC> exits, HEX data is stored, ' enters ASCII mode, F1 for Help
```

SPRINT è già dotato di algoritmi di programmazione "intelligenti" che vengono eseguiti in tempi molto brevi

"P-program device"
Con questa opzione si programma il componente. Inizialmente SPRINT verifica che il componente sia correttamente inserito nello zoccolo di programmazione e che sia cancellato. Nel caso quest'ultima condizione non sia soddisfatta, SPRINT verifica se è possibile programmare i dati su quelli già esistenti. Se questo è possibile viene avviato il processo di programmazione, utilizzando diversi algoritmi per ottimizzare il tempo necessario. Quando la programmazione è terminata viene eseguita automaticamente la verifica (opzione V).
"Q-exit to DOS"
Serve per ritornare al sistema operativo.
"R-read device"
Questa opzione trasferisce nel buffer di memoria il contenuto del componente inserito nello zoccolo di programmazione.
"T-GANG / SET Programming options"
Questa opzione serve solamente quando si selezionano configurazioni speciali che consentono di programmare 2, 4 o più dispositivi contemporaneamente e con lo stesso contenuto.
"V-verify device"
Con questa opzione viene eseguito un confronto tra il buffer di memoria e il componente presente sullo zoccolo; viene avviata automaticamente al termine di una fase di programmazione.
"W-write HEX or binary disk file"
Questa opzione salva in un file il contenuto del buffer di memoria. Il formato utilizzato può essere Intel Hex o Binario.

PROGRAMMAZIONE DEI COMPONENTI LOGICI PAL, PLD, EPLD

Quando si seleziona la programmazione di un componente logico, SPRINT visualizza un elenco per la scelta del costruttore e del tipo di componente come per la programmazione delle memorie. Nelle versioni più recenti questo elenco comprende circa 25 costruttori e più di 1800 componenti. Per questo tipo di dispositivi non è possibile rilevare automaticamente il modello. Dopo aver eseguito le operazioni di impostazione iniziale, sullo schermo compaiono le opzioni relative alla programmazione:
A-assemble PLD to JEDEC file
SPRINT è dotato di un assemblatore del linguaggio PLDASM, che viene richiamato tramite questa opzione. Partendo dal file sorgente (testo ASCII), che contiene le equazioni in forma simbolica, viene generato un file in formato JEDEC standard che può essere utilizzato da qualsiasi programmatore di componenti programmabili.
"B-blank check device"
Verifica che il componente sia cancellato.
"C-change device type"
É simile all'opzione esaminata per la programmazione delle memorie, ma con un piccola differenza: se il contenuto di una memoria può essere trasferito senza problemi in un altro dispositivo di capacità superiore, non vale la stessa regola per le logiche programmabili. Infatti, generalmente hanno strutture diverse, e il termine maggiore perde di significato. Si prenda in considerazione una PAL con registri tipo 16R4. Il suo contenuto difficilmente può essere trasferito in un'altra PAL che, anche se di capacità maggiore, comprende solo logica addizionale, come ad esempio la 20L10. Tuttavia, con SPRINT è possibile tentare di

Adattatore per componenti con contenitore PLCC

```
PROM variables                              Texas Inst TMS27C512

          Installed pod is type        700
          Hardware is model              Expert
          Device size (bytes)        65536
          Device type is                 EPROM
          Vpp voltage is             13000 mV
          Vcc during programming      6500 mV
          Vendor ID is          (HEX)  97
          Device ID is          (HEX)  85
          Initial pulse width        100 us
          Maximum pulse count         10
          Overprogram pulse width    100 us
          Programming algorithm       T.I. SNAP

          Vcc during Verify           5.0 volts
          Screen display mode         fast
          Default Buffer contents     FF Hex
          Beep on programming done    ON
          disk for disk-swapping      C: DAT.CNF

  Enter return to quit, ↑ or ↓ to move cursor, data to change options
```

Parametri di programmazione predefiniti per ciascun componente

SPRINT non è dotato di funzioni di HELP o di aiuto, poiché risultano inutili

sostituire il componente con uno di tipo 16V8 oppure 20V8; egli stesso esegue le variazioni di programmazione necessarie.

"D-execute DOS command"

"E-edit pattern in memory"

Questa opzione consente di modificare manualmente la mappa dei fusibili.

"G-create and debug test vectors"

Questa opzione consente di creare e modificare vettori di test molto rapidamente, applicandoli al componente già programmato che si trova sullo zoccolo. La verifica di quest'ultimo è pertanto immediata.

"I-read JEDEC file from disk to memory"

Questa opzione consente di caricare un file JEDEC nel buffer di memoria del PC. Il suo formato è generato dai sistemi di sviluppo per PLD, quali ABEL, AMAZE, CUPL, PALASM, PLDASM, ecc.

"M-Multiple device programming"

Consente di impostare un contatore per programmare un numero prefissato di componenti. Premendo un tasto qualsiasi viene programmata l'unità successiva, e il processo viene ripetuto sino al termine del conteggio.

"P-program device"

Con questa opzione si ottengono gli stessi risultati già visti per la programmazione delle memorie.

"Q-exit"

Per ritornare al sistema operativo.

"R-read device"

Questa opzione trasferisce nel buffer di memoria il contenuto del componente, se il suo fusibile di sicurezza non è stato attivato.

"S-program security fuse"

Attiva il fusibile di sicurezza. Si deve tener presente che le opzioni di lettura (R) e di verifica (V) del componente possono essere eseguite solo se il fusibile di sicurezza non è attivo.

"T-test device using JEDEC vectors"

Se il file JEDEC comprende vettori di test, questi vengono verificati richiamando questa opzione.

"U-unassemble memory to file"

Questa è una opzione aggiuntiva che consente di disassemblare il file JEDEC, ottenendo un file testo con le equazioni in formato PLDASM.

"V-compare device to memory"

Il suo funzionamento è identico a quello visto per la programmazione delle memorie. Il fusibile di sicurezza della logica che si vuole controllare non deve essere attivato.

"W-write data to JEDEC disk file"

Questa opzione salva in un file JEDEC il contenuto del buffer di memoria, unitamente ai vettori di test se sono presenti.

"X-Cross programming utility"

Questa è una opzione aggiuntiva costituita da un software che consente di modificare il tipo di componente in modo più generale rispetto a

Menu di programmazione per i componenti logici

Con l'adattatore TOP432 è possibile eseguire delle programmazioni multiple

quello permesso con l'opzione "C". Così come è molto semplice disassemblare un file JEDEC per ottenere un file ASCII con le relative equazioni, anche modificare il tipo di componente logico che si deve utilizzare e ricompilarlo è altrettanto facile. L'acquisto di questa opzione non risulta di grande utilità quando si ha già a disposizione il file con le equazioni, poiché può essere direttamente assemblato per il componente desiderato tramite l'opzione "A". Le rimanenti opzioni del menu principale di SPRINT sono quelle che richiamano l'assemblatore e il disassemblatore di PLD, che sono le stesse ottenute tramite le opzioni "A" e "U" del menu di programmazione dei PLD abbinate a due utility non ancora descritte. Queste ultime sono utility di verifica, che consentono una diagnostica completa, la calibrazione dell'apparecchiatura, e la gestione dell'adattatore TOP432 per la programmazione multipla. Nel caso non si abbia questo adattatore, costituito da 4 zoccoli a 32 terminali ciascuno, questa utility non serve a nulla. Per concludere, non rimane che ricordare che SPRINT non dispone di alcuna funzione di aiuto (HELP), anche se probabilmente non sarebbe servita a molto. Infatti, grazie alla semplicità delle videate senza finestre, icone, grafici, e ovviamente senza l'HELP, consente una programmazione rapida, comoda e sicura dei componenti desiderati.

```
  out6     = 17
  out7     = 18
  out3     = 19
  out2     = 20
  out1     = 21
  out0     = 22
  cin      = 23    ' carry in

start
  out4.ena  = enable;
  out4     := /load* down*/out4*/out3*/out2*/out1*/out0* cin
            + /load*/down*/out4* out3* out2* out1* out0* cin
            + /load* out4*/cin
            + /load* down* out4* out3
            + /load*/down* out4*/out0
            + /load* out4*/out1* out0
            + /load* out4*/out3* out2
            + /load* out4*/out2* out1
            +  load* data4;

  out5.ena  = enable;
  out5     := /load* down*/out4*/out5*/out3*/out2*/out1*/out0* cin
            + /load*/down* out4*/out5* out3* out2* out1* out0* cin
            + /load* out5*/cin
            + /load* out4* out5*/out1
```

Un file sorgente in formato PLDASM è composto dal tipo di componente, dall'assegnazione dei terminali e dalle equazioni

Editazione di un file in formato JEDEC ottenuta con l'opzione "E"

```
                       SPRINTplus JEDEC fuse map editor
               0000 0000 0011 1111 1111 2222 2222 2233 3333 3333 4444
term    pin    0123 4567 8901 2345 6789 0123 4567 8901 2345 6789 0123
50             --X- -XX- --X- --X- --X- ---- ---- ---- ---- ---- X---
51             --X- -X-X ---X ---X --X- ---- ---- ---- ---- ---- -X--
52             ---X -X-- ---- ---- ---X ---- ---- ---- ---- ---- ----
53             ---- -X-- ---- ---X ---X ---- ---- ---- ---- ---- X---
54             ---- -XX- ---- ---- ---X ---- ---- ---- ---- ---- -X--
55             ---- -X-X --X- ---- ---X ---- ---- ---- ---- ---- ----
56             ---- -X-- ---X --X- ---X ---- ---- ---- ---- ---- ----
57             ---- X--- ---- ---- ---- X--- ---- ---- ---- ---- ----
58             XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
59             XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
60             XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
61             XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
62             XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
63             XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
64             XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX
65             XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX XXXX

66      18     ---- ---- ---- ---- ---- ---- ---- ---- ---- ---- --X-
67             --X- -XX- --X- --X- --X- --X- --X- --X- --X- ---- X---
68             --X- -X-X ---X ---X ---X --X- ---X ---X ---X ---- -X--
AMD PAL22V10-10
22V10.JED                                      type F1 for help, ESC to exit
```

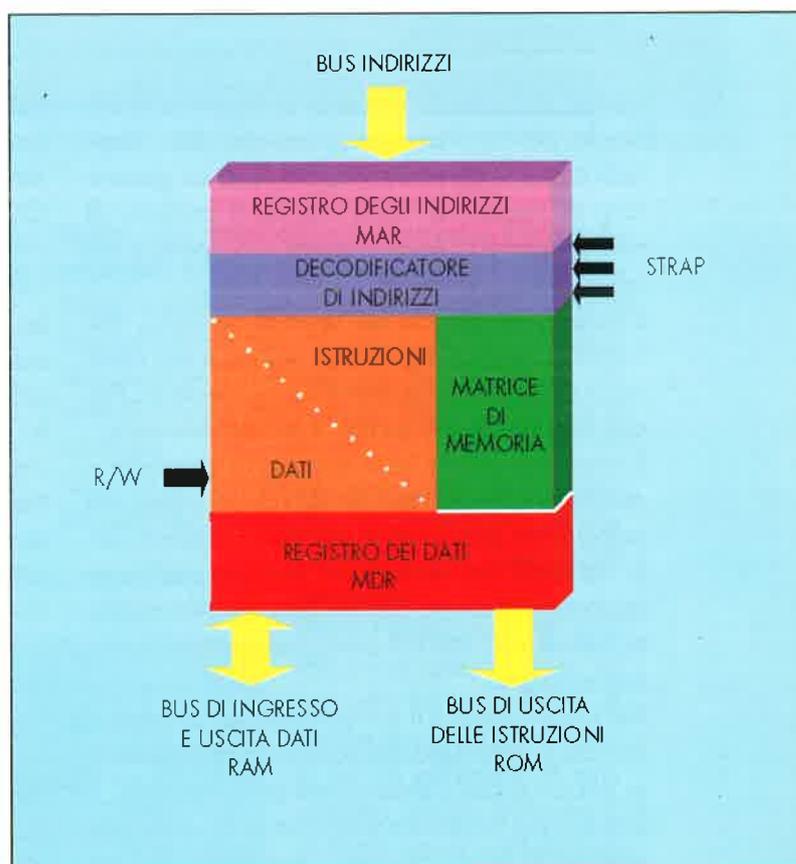
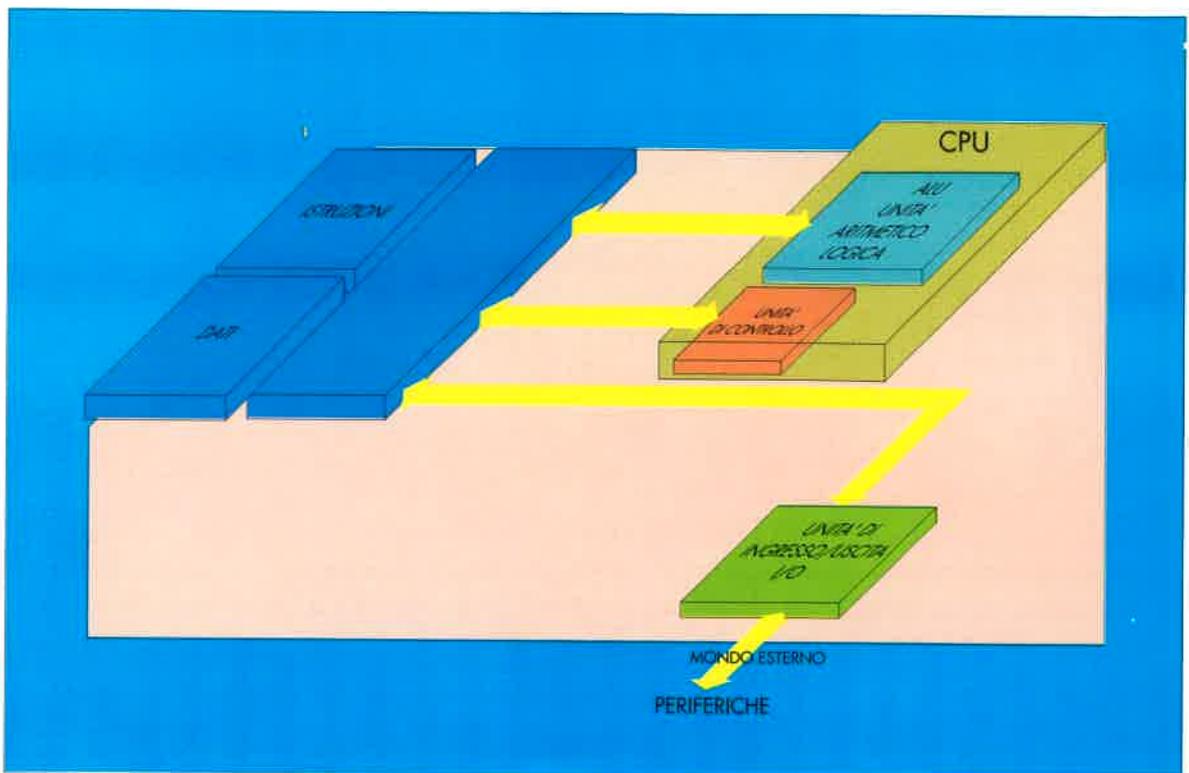
IL MICROPROCESSORE NEL PC

L'obiettivo principale del CORSO DI ELETTRONICA DIGITALE era quello di esaminare, componente per componente, tutti i circuiti che servono per la costruzione di un personal computer. Dopo aver ampiamente descritto il loro funzionamento, viene di seguito analizzato il loro comportamento nel momento in cui vengono combinati per formare un PC.

Un calcolatore, come tutti sanno, è un sistema in grado di processare e manipolare i dati e le informazioni che gli vengono forniti o che ha memorizzato. L'elaboratore riceve le informazioni dalla sua memoria o dalle periferiche che lo collegano al mondo esterno, e le elabora secondo una sequenza di istruzioni che viene programmata in precedenza e immagazzinata al suo interno.

Nella fase di elaborazione dei dati il PC è in grado di eseguire operazioni aritmetico-logiche, trasferimenti di informazioni, ecc., per fornire all'esterno dei risultati nel formato binario con il quale lavora la macchina; successivamente utilizza i suoi circuiti di ingresso/uscita e quelli delle periferiche per tradurre queste informazioni e offrirle in modo che la loro comprensione risulti immediata all'utilizzatore.

Un calcolatore è composto principalmente da quattro blocchi principali:

- *unità di controllo,*
- *unità aritmetico-logica,*
- *unità di memoria,*
- *unità di ingresso-uscita.*

Struttura di un blocco di memoria, che può essere diviso in due zone principali: memoria centrale e periferica

Collegamenti tra i quattro blocchi fondamentali di un calcolatore: unità di memoria, unità di controllo, unità aritmetico-logica e unità di ingresso/uscita

Inoltre, è dotato di una serie di registri a scorrimento per la memorizzazione dei dati, degli indirizzi e di altre informazioni, e di un generatore di impulsi di clock che ha il compito di sincronizzare i diversi elementi che operano nel calcolatore.

L'insieme dei blocchi dell'unità di controllo, dell'unità aritmetico-logica, dei registri e del clock viene chiamata *unità centrale di processo o CPU*, che rappresenta in pratica il microprocessore.

Il microprocessore ha il compito di generare e controllare il movimento dei dati che circolano nel calcolatore, seguendo le istruzioni contenute nella memoria che servono per indicare quali operazioni o trattamenti devono subire le informazioni provenienti dall'esterno o prelevate dalla memoria interna.

Per capire meglio il comportamento di ciascun blocco, è opportuno analizzarli tutti singolarmente iniziando dalla descrizione della memoria.

La memoria può essere suddivisa in due zone (per rendere più semplice la descrizione): una dedicata alle istruzioni e un'altra riservata per la memorizzazione dei dati. Il programma, o sequenza di istruzioni, che deve essere eseguito dal calcolatore per elaborare i dati è contenuto nella zona di memoria conosciuta con il nome di *memoria delle istruzioni*.

Queste due zone possono essere definite come:
- *memoria centrale,*
- *memoria periferica.*

La memoria centrale, unitamente al microprocessore, è quella che interviene nell'elaborazione di tutte le informazioni e nella quale vengono caricati i programmi operativi e di aggiornamento del calcolatore.

Nella memoria periferica, di capacità variabile in ogni elaboratore, vengono invece immagazzinati tutti i dati e i programmi applicativi. Si possono considerare appartenenti a questo gruppo anche i diversi tipi di dischi per la memorizzazione dei dati presenti in un calcolatore.

Per capire quale sia il meccanismo che mette in relazione la memoria con il microprocessore bisogna esaminare la sequenza di lavoro del sistema. L'informazione che la memoria riceve attraverso il bus indirizzi è formata da un determinato numero di bit, tanti quante sono le linee che compongono il bus stesso, per mezzo dei quali viene definita la locazione di memoria alla quale

si deve accedere. Il decodificatore di indirizzi preleva questa informazione e, dopo averla decodificata e immagazzinata temporaneamente in un registro degli indirizzi, seleziona la cella prescelta tra quelle che compongono la matrice della memoria.
Generalmente il blocco di memoria è formato da un certo numero di circuiti integrati, che vengono singolarmente selezionati tramite alcune linee di attivazione chiamate *strap*. A volte invece è presente una sola linea per la selezione del chip, chiamata in questo caso *chip select*.
Dopo aver selezionato la locazione di memoria prescelta, se questa appartiene ad una ROM il suo contenuto, che in questo caso è costituito da una sequenza di istruzioni, viene temporaneamente memorizzato nel registro dei dati e successivamente trasmesso attraverso il bus di uscita delle istruzioni.
Se la memoria è invece di tipo RAM è richiesto l'impiego di un bus bidirezionale che consenta sia l'ingresso dei dati nel registro corrispondente e la loro successiva registrazione nella locazione predefinita, sia l'uscita dell'informazione da quella locazione. Per permettere la selezione dell'opzione desiderata viene utilizzata una linea specifica, chiamata di *lettura/scrittura (R/W)*, che ha il compito di trasmettere al chip il comando corrispondente.
Il secondo blocco fondamentale è costituito dall'unità di controllo, che riceve in modo sequenziale le istruzioni dalla memoria attraverso il bus delle istruzioni, e le memorizza nel registro delle istruzioni; queste vengono successivamente inviate al corrispondente decodificatore, che si incarica di interpretarle e decodificarle per generare una serie di segnali che vengono trasmessi sul bus di controllo.
I segnali di controllo pilotano a loro volta i diversi elementi del calcolatore che partecipano all'esecuzione di una determinata istruzione.
Dopo l'esecuzione di ogni istruzione questa unità di controllo ha il compito di inviare un particolare segnale ad un contatore di programma *(program counter)*, in modo che il puntatore di programma si selezioni sull'istruzione immediatamente successiva. Quando l'istruzione prevede l'accesso ad

Architettura fondamentale di una unità di controllo che, unitamente alla ALU, forma il microprocessore

L'unità aritmetico-logica è quella incaricata di eseguire le operazioni logiche e aritmetiche che sono richieste dall'unità di controllo

Schema a blocchi di un calcolatore, nel quale il collegamento tra i diversi blocchi fondamentali viene realizzato attraverso il bus indirizzi, il bus dati e il bus delle istruzioni e di controllo

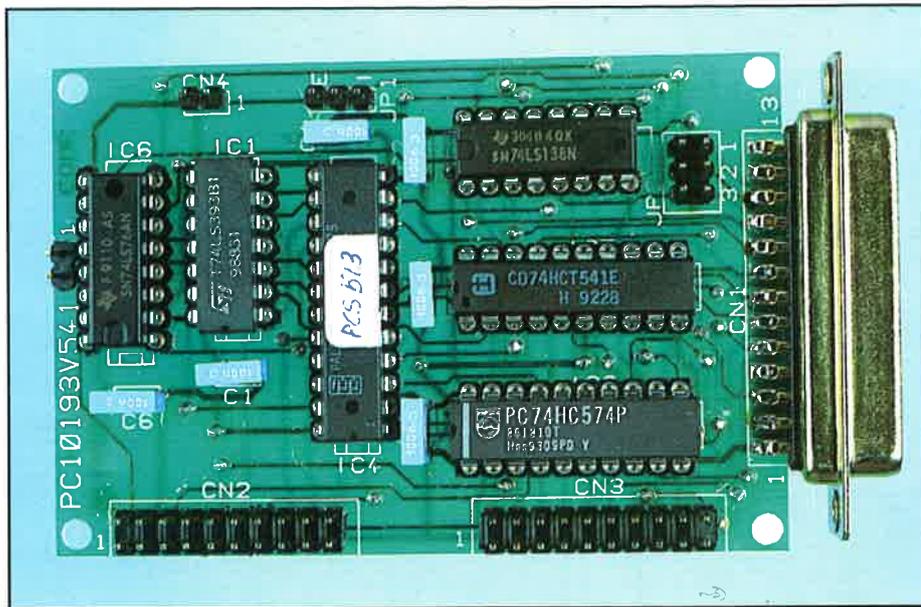
una locazione di memoria, il suo indirizzo viene generato direttamente dall'unità di controllo. La decodifica di una istruzione può comportare un sostanziale cambiamento del valore impostato nel contatore di programma, che normalmente si limita ad incrementarsi di una unità per ogni istruzione.

L'unità aritmetico-logica è quella incaricata dell'elaborazione logica e aritmetica dei dati in funzione delle indicazioni contenute in ciascuna istruzione. Questa unità è composta da due blocchi principali:

- *il registro accumulatore,*
- *l'unità aritmetico-logica.*

La capacità e la potenza dell'unità operativa per il trattamento dei dati dipende esclusivamente dalle caratteristiche del circuito ALU di cui è dotata. Uno dei dati che devono essere manipolati dalla ALU viene sempre memorizzato nel registro accumulatore. Generalmente l'altro dato arriva alla ALU attraverso il bus dati, provenendo dalla memoria o dai moduli di ingresso/uscita. Il risultato che si ottiene dall'operazione eseguita dalla ALU viene nuovamente caricato nel registro accumulatore in sostituzione del primo dato.

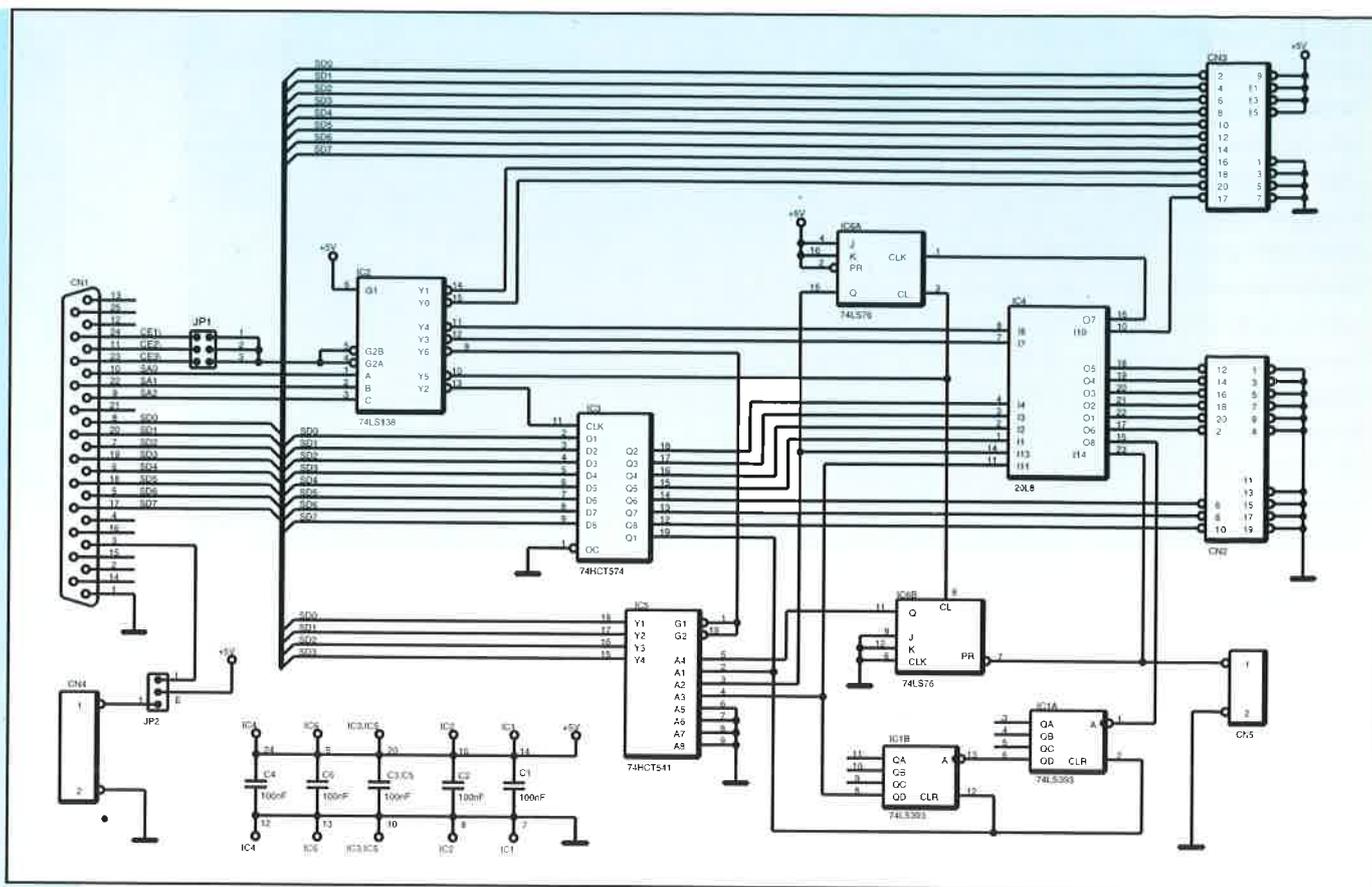
L'ultimo blocco che deve essere esaminato è costituito dall'unità di ingresso e uscita. La sua funzione è quella di ricevere dall'esterno i dati che devono essere elaborati, e di fornire alla periferia nel formato più opportuno i risultati ottenuti dalla loro elaborazione.

Se il calcolatore è collegato a una periferica, quale può essere ad esempio una stampante, l'unità di ingresso e uscita ha il compito di adattare la comunicazione tra i due elementi (calcolatore e stampante).

Analizzatore logico (Modulo di controllo)

Il terzo modulo, che rappresenta l'ultimo elemento hardware dell'analizzatore logico, è costituito dal circuito di controllo. La sua funzione principale è quella di permettere il collegamento tra le istruzioni provenienti dal calcolatore e i circuiti di memoria e di innesco.

Il controllo effettivo del gruppo di circuiti che formano l'analizzatore logico è eseguito dal programma, che si serve di questo modulo per caricare i dati pertinenti richiesti dall'analizzatore e per generare i segnali che regolano il comportamento dei moduli di memoria e di innesco.

Lo schema elettrico del modulo di controllo può essere idealmente suddiviso in diversi blocchi funzionali che vengono di seguito descritti.

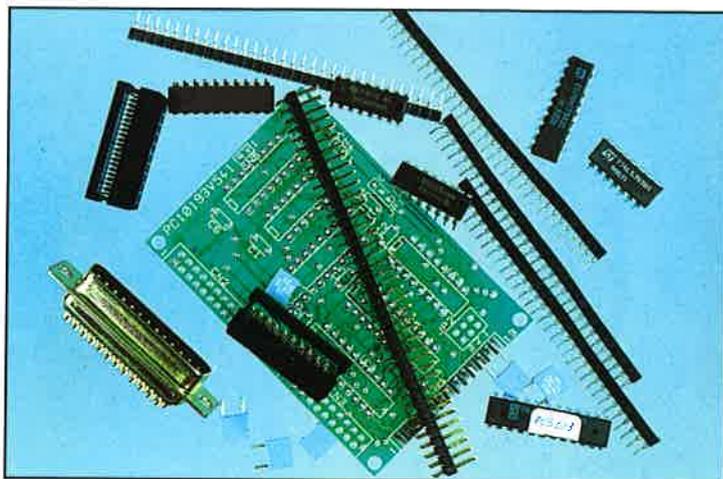
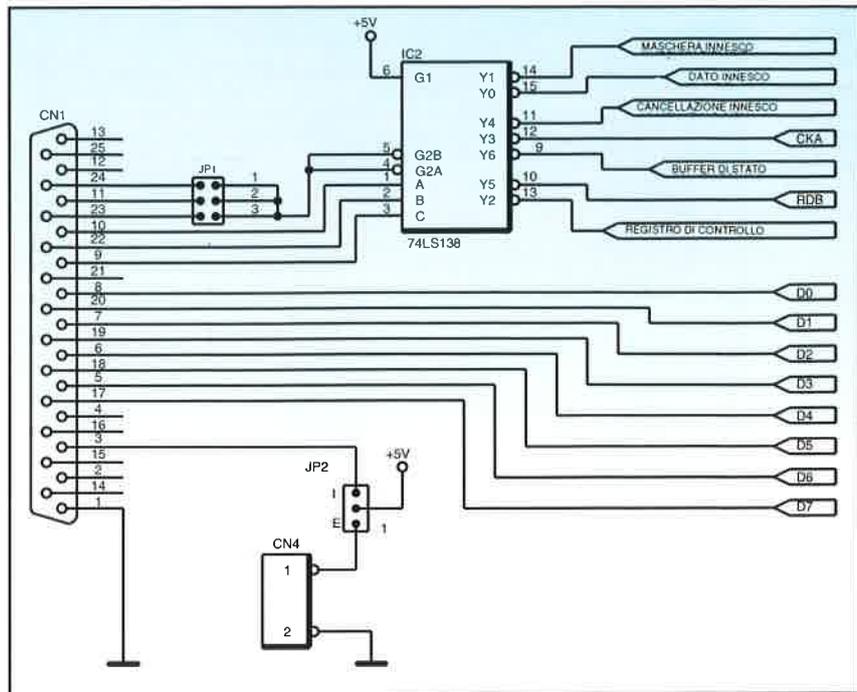
Questo circuito è stato progettato per essere collegato al decodificatore di indirizzi

Nello schema elettrico si può osservare che la comunicazione tra il modulo di controllo e il circuito decodificatore di indirizzi viene realizzata attraverso il connettore CN1

CIRCUITO DI INGRESSO/USCITA

Come già detto in precedenza, questo circuito è stato progettato per essere collegato al decodificatore di indirizzi, la cui funzione è quella di decodificare l'indirizzo primario al quale viene collegato il circuito. L'impostazione dell'indirizzo primario deve essere effettuata agendo sul ponticello JP1; le posizioni 1, 2 o 3 corrispondono rispettivamente agli indirizzi CE1, CE2 o CE3. Il segnale di selezione impostato viene inviato all'ingresso di abilitazione del circuito integrato IC2, un 74LS138, che esegue la decodifica dell'indirizzo secondario. I tre bit meno significativi (A0, A1 e A2) del bus dati del calcolatore sono collegati agli ingressi A, B e C di IC2 in modo da permettere la selezione di otto indirizzi secondari (da 0 a 7).

L'impostazione dell'indirizzo primario si ottiene agendo sul ponticello JP1

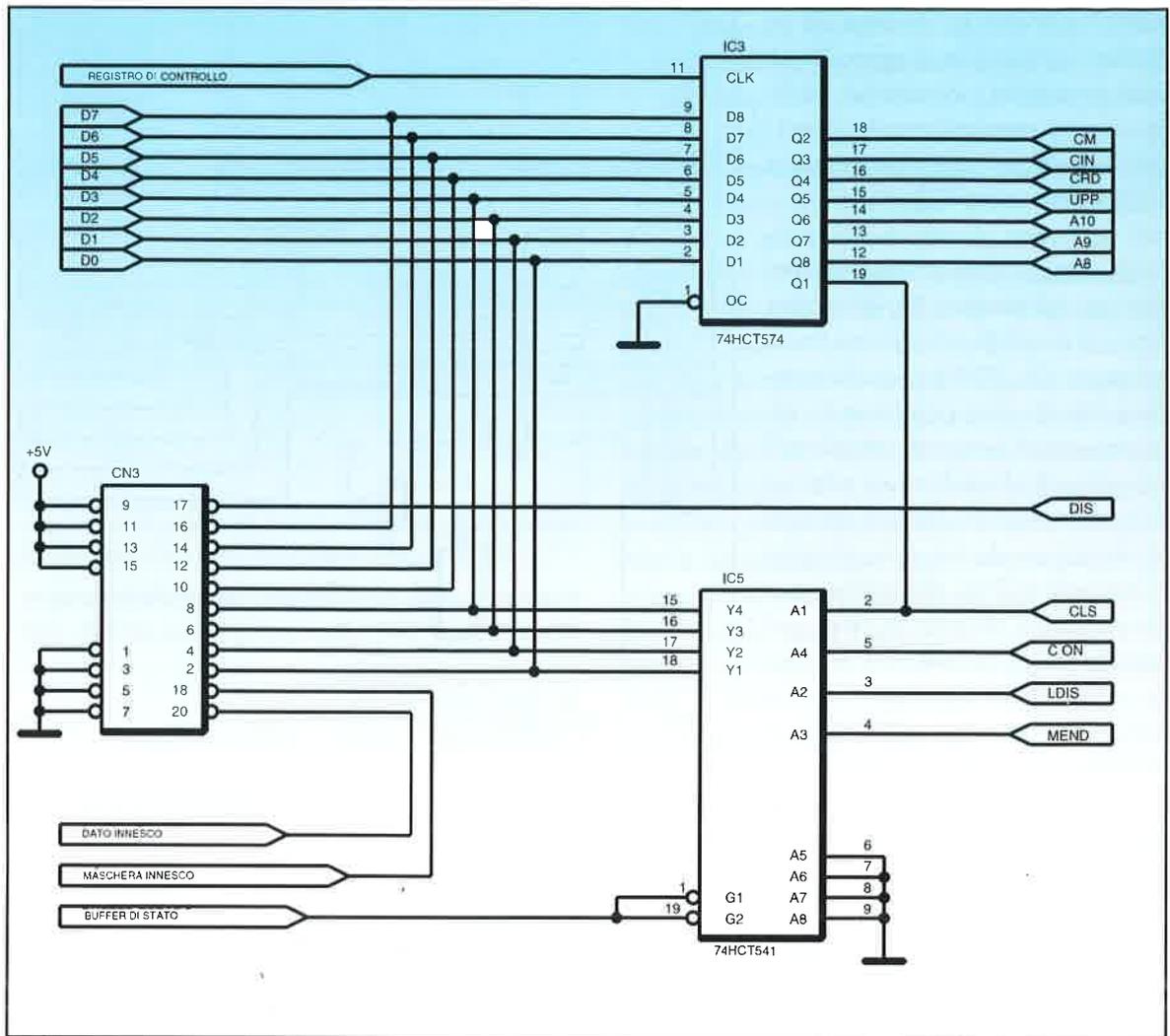
Durante il periodo in cui il segnale di abilitazione rimane a livello basso l'uscita corrispondente all'indirizzo presente sugli ingressi di IC2 commuta a livello basso. Se questa uscita è collegata a un registro, in quest'ultimo viene memorizzato il dato presente sul bus dati del calcolatore (da D0

Prima di iniziare il montaggio del circuito bisogna identificare e classificare tutti i componenti

a D7); se invece è connessa ad un "buffer", sul bus dati vengono inviati i dati presenti ai suoi ingressi. Nella figura corrispondente sono indicati i circuiti collegati alle diverse uscite del decodificatore IC2.
Nel caso non si voglia utilizzare l'alimentatore interno dell'elaboratore per alimentare l'analizzatore logico, è possibile selezionare tramite il ponticello JP2 il tipo di alimentazione desiderata; posizione I - alimentatore del personal, posizione E - sorgente di alimentazione esterna. In questo secondo caso il cavo di alimentazione deve essere collegato al connettore CN4. Nel momento in cui arriva dal modulo di innesco il segnale DIS, il connettore CN3 rende disponibili agli altri circuiti dell'analizzatore sia la tensione di alimentazione che il bus dati.

L'indirizzo primario dell'analizzatore viene determinato dalla posizione del ponticello JP1. Il tipo di alimentazione viene invece impostata tramite il ponticello JP2

REGISTRO DI CONTROLLO E BUFFER DI STATO

Il registro di controllo è un 74HCT574 (IC3) che si trova all'indirizzo secondario 2; scrivendo a questo indirizzo viene caricato nel registro il dato a otto bit inviato dal calcolatore.
La funzione di ciascuno degli otto bit di uscita è la seguente:
Q6, Q7 e *Q8* selezionano una delle otto pagine da 256 posizioni del modulo di memoria. Come si può facilmente verificare, questi tre bit arrivano direttamente dal calcolatore senza passare attraverso altri circuiti, per cui è il programma di controllo che esegue la selezione della pagina attiva in ogni istante, mentre il circuito di controllo si limita a mantenere il dato corrispondente.
Q5 è collegato all'ingresso I1 della PAL, e rappresenta lo stato di attività dell'unità di innesco (UPP). Un livello basso indica che il modulo di innesco non è presente, o meglio che non viene utilizzato in quel dato momento. Un livello alto viceversa indica che è presente e che è utilizzato.
Q4 è collegato all'ingresso I2 della PAL, ed esegue il controllo della lettura nella memoria (CRD). A livello alto viene eseguita la lettura del modulo di memoria. Questo segnale può commutare a livello alto solamente quando Q3 si trova a livello basso.
Q3 è collegato all'ingresso I3 della PAL, ed esegue il controllo della scrittura in memoria (CIN). Quando si trova a livello alto la memoria immagazzina i dati di ingresso. Può commutare a livello alto solamente quando Q4 si trova a livello basso.
Q2 esegue il controllo del campionamento (CM); a livello basso impedisce che si verifichi l'innesco, per cui i dati vengono memorizzati in modo ininterrotto. A livello alto consente la generazione del segnale di innesco.
Q1 viene utilizzato per resettare il contatore di campionamenti (CLS); contemporaneamente è collegato all'ingresso A1 del buffer di stato IC5 per consentire al programma di verificare se l'indirizzo dell'analizzatore è stato impostato correttamente.
Il buffer di stato IC5 (74HCT541) permette al programma di conoscere in ogni momento le condizioni del circuito durante la campionatura. Poiché si trova all'indirizzo secondario 6, quando il programma esegue una lettura a questo indirizzo i dati presenti ai suoi ingressi vengono trasferiti al bus dati e trasmessi al calcolatore.
L'ingresso A1 viene utilizzato, come si è visto, per verificare la presenza del circuito all'indirizzo

Il buffer di stato IC5 (74HC541) permette al programma di controllo di rilevare il comportamento del circuito durante il campionamento

Il registro di controllo memorizza le istruzioni che arrivano dal calcolatore, mentre il buffer di stato fornisce informazioni sullo stato dell'analizzatore

selezionato con il programma.

L'ingresso A2 è collegato all'uscita del bistabile che memorizza l'innesco (LDIS) durante il campionamento. Se si trova a livello alto significa che l'innesco è avvenuto.

L'ingresso A3 riceve il segnale di fine campionamento (MEND); un livello alto indica che può iniziare la lettura dei dati in memoria.

L'ingresso A4 è collegato all'uscita del bistabile che rileva la presenza del segnale di clock; se si trova a livello basso significa che il clock non è presente o è scollegato.

Gli altri ingressi di IC5 sono scollegati e non vengono utilizzati, per cui non vengono interpretati dal programma di controllo.

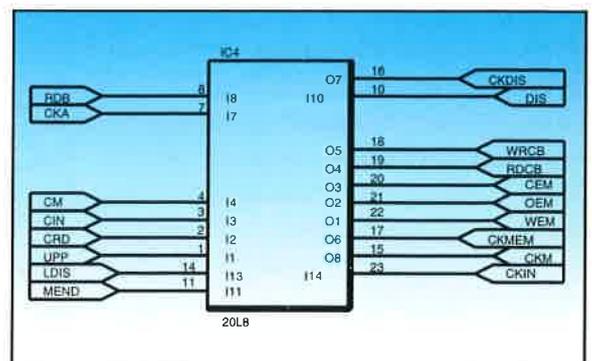
Il circuito integrato IC4 è una matrice logica programmabile che contiene tutta la logica combinatoria del circuito

La PAL

Il circuito integrato IC4, PAL20L8, è una matrice logica programmabile che contiene tutta la logica combinatoria del circuito. Ogni uscita dipende dall'equazione che è stata programmata, e corrisponde alla combinazione di diversi ingressi.

L'uscita O1 (WEM) è collegata al terminale /WE, abilitazione alla scrittura della memoria, ed è definita dall'equazione:

/WEM = CKIN∗CIN∗/MEND∗/CRD

Tutta la logica combinatoria del modulo è contenuta nella PAL 20L8

Durante il periodo di campionamento (MEND a livello basso) il segnale di clock (CKIN) arriva invertito al terminale /WE della memoria per consentire la sua scrittura (CIN a livello alto e CRD a livello basso). Ogni volta che il segnale di clock commuta da livello alto a livello basso viene caricato in memoria il dato presente in quel momento all'ingresso del modulo di memoria.

L'uscita O2 (OEM) è collegata al terminale /OE della memoria e ne controlla la lettura. La sua equazione è:

/OEM = /CIN*CRD*/RDB

Il segnale di lettura (RDB), generato dal decodificatore IC2, arriva al terminale /OE della memoria quando viene eseguita la lettura (CIN a livello basso e CRD a livello alto).

L'uscita O3 (CEM) controlla l'abilitazione della memoria, sia per la lettura che per la scrittura dei dati, secondo l'equazione:

/CEM = /CIN*CRD*/RDB + CIN*/CRD*/MEND

Quando si esegue la lettura, CIN a livello basso e CRD a livello alto, la memoria viene abilitata solo per la durata del segnale di lettura RDB. In scrittura, CIN a livello alto e CRD a livello basso, la memoria viene invece abilitata per il periodo di campionatura durante il quale MEND rimane a livello basso. L'uscita O4 (RDCB) controlla l'apertura del buffer di lettura del modulo di memoria, agendo nello stesso modo in cui agisce l'uscita O2. La sua equazione è:

/RDCB = /CIN*CRD*/RDB

L'uscita O5 (WRCB) controlla l'apertura del buffer di ingresso del modulo di memoria, e risponde all'equazione:

/WRCB = CIN*/CRD*/MEND

Il trasferimento dei dati di ingresso alla memoria è consentito solamente durante una fase di scrittura, CIN a livello alto e CRD a livello basso, con campionamento in corso e MEND a livello basso.

L'uscita O6 (CKMEM) fornisce il clock per il contatore del modulo di memoria. La sua equazione risulta:

/CKMEM = /CIN*CRD*/CKA + CIN*/CKIN*/CRD*/MEND

Durante la lettura, CIN a livello basso e CRD a livello alto, al contatore arriva un impulso di incremento (CKA) generato dal decodificatore. In scrittura, CIN a livello alto e CRD a livello basso, il clock arriva mentre si sta eseguendo il campionamento, con MEND a livello basso.

L'uscita O7 (CKDIS) controlla il segnale di innesco prodotto dal comparatore, secondo l'equazione:

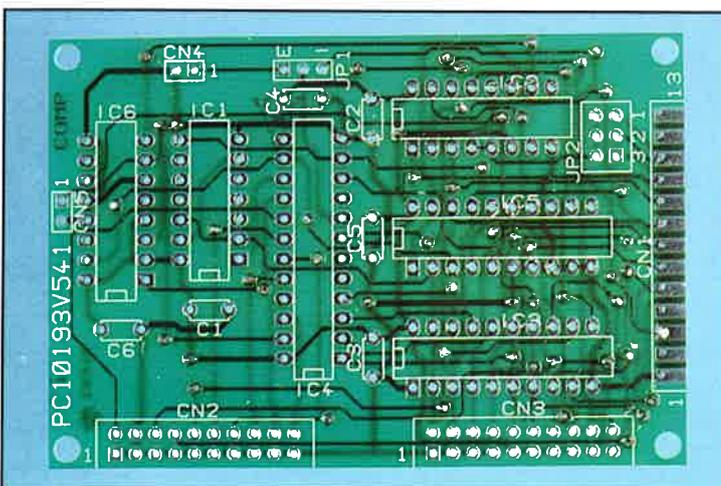
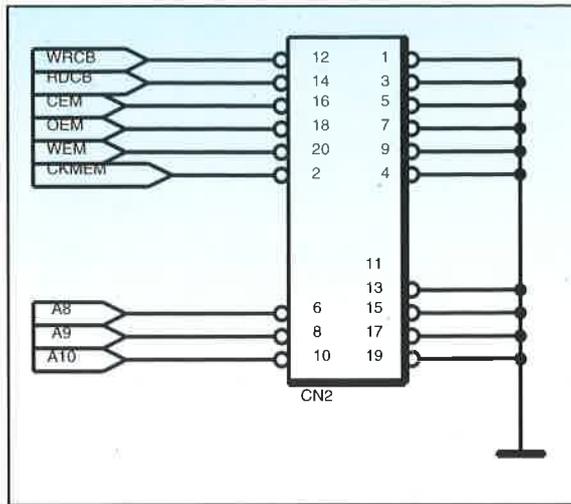
/CKDIS = CM*/LDIS*UPP*/DIS

L'impulso prodotto dal comparatore del modulo di innesco (DIS) arriva all'ingresso di clock del bistabile IC6A quando viene consentito l'innesco, CM a livello alto, il modulo di innesco è utilizzato, UPP a livello alto, e non è stato generato un innesco precedente, LDIS a livello basso. L'ultima delle uscite, O8 (CKM), è il

ASSEGNAZIONE DEGLI INDIRIZZI					
DIR	CBA	USCITA	CIRCUITO	MODULO	FUNZIONE
0	000	Y0	IC5	INNESCO	REGISTRO DATO DI INNESCO
1	001	Y1	IC4	INNESCO	REGISTRO DELLA MASCHERA
2	010	Y2	IC3	CONTROLLO	REGISTRO DI CONTROLLO
3	011	Y3	IC4-7	CONTROLLO	INCREMENTO CONTATORE DI LETTURA (CKA)
4	100	Y4	IC4-8	CONTROLLO	LETTURA (RDB)
5	101	Y5	IC3-3/8	CONTROLLO	CANCELLAZIONE INNESCO/CLOCK
6	110	Y6	IC5	CONTROLLO	BUFFER DI STATO
7	111	Y7	LIBERO	NON USATO	-

Gli indirizzi secondari sono assegnati ai circuiti integrati che appartengono ai diversi moduli hardware dell'analizzatore

La prima operazione richiesta per il montaggio è la realizzazione dei collegamenti tra le due facce dello stampato

Durante la fase di campionamento, viene caricato in memoria il dato presente all'ingresso del modulo di memoria ogni volta che il segnale di clock passa da livello alto a livello basso

Attraverso il connettore CN2 circolano tutti i segnali di controllo necessari per il funzionamento del modulo di memoria

segnale di clock per il contatore di campionamenti IC1 del modulo di controllo, ed è controllata tramite l'equazione:

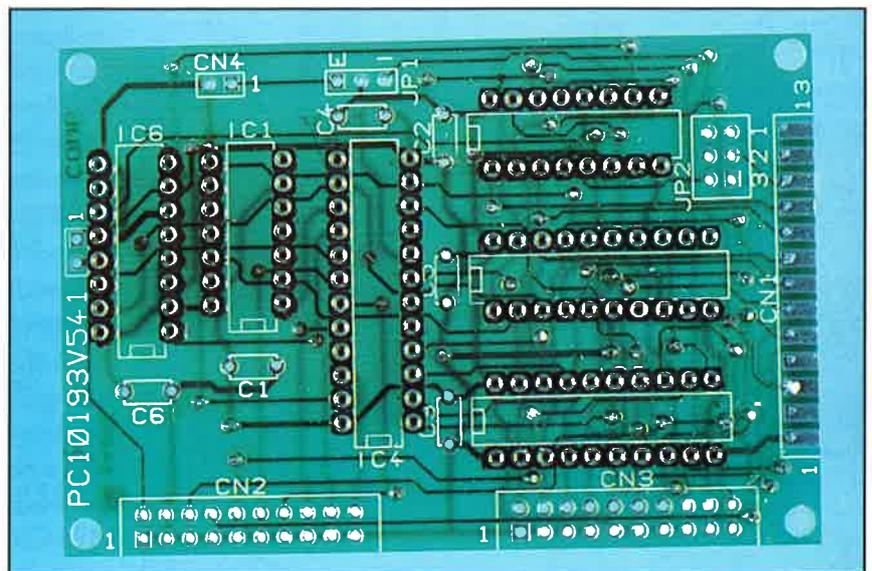
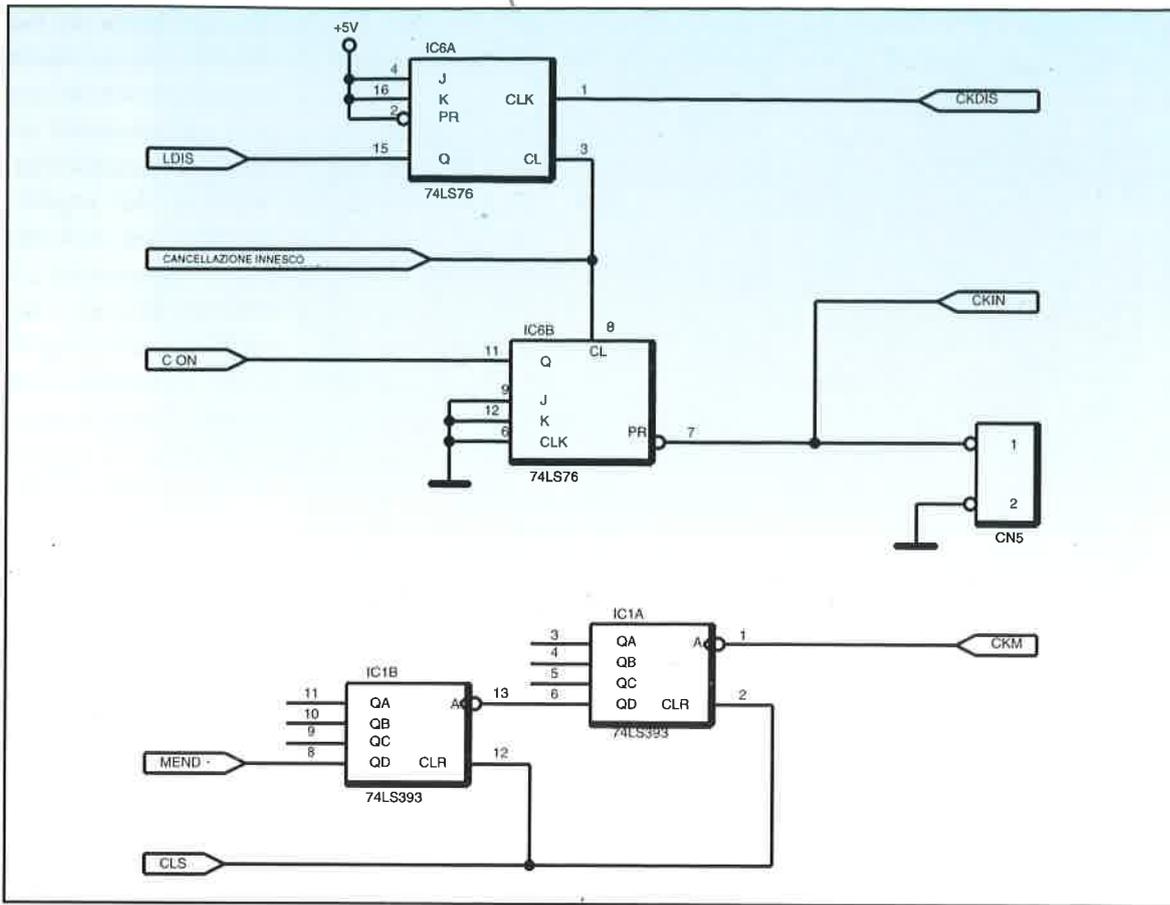
/CKM = CM*CIN*/CRD*/UPP*/CKIN*/MEND + CM*CIN*/CRD*UPP*/LDIS*/CKIN*/MEND

Il segnale di clock CKIN viene applicato al contatore di campionamenti quando viene consentito l'innesco, (CM a livello alto) e mentre si sta scrivendo, (CIN a livello alto e CRD a livello basso) quando non si utilizza l'unità di innesco, (UPP a livello basso) o quando la si utilizza, (UPP a livello alto) e l'innesco si è verificato, (LDIS a livello alto). In ogni caso durante il periodo di campionamento con MEND a livello basso. Tutti i segnali di controllo del modulo di memoria sono presenti sul connettore CN2 che, come tutti i connettori per cavo piatto dell'analizzatore, è dotato di linee di massa multiple per la schermatura dei segnali.

MONTAGGIO

Come nei moduli precedenti, il circuito stampato è a doppia faccia con fori non metallizzati per cui, dopo aver classificato i componenti, si devono inizialmente eseguire i collegamenti tra le due facce dello stampato. Per questa operazione si deve utilizzare del filo di rame stagnato o pezzi di reofori che devono essere inseriti nei fori passanti e saldati da entrambi i lati dello stampato. Anche per alcuni componenti è necessario saldare i terminali da entrambi i lati dello stampato. Il montaggio prosegue con le strisce di terminali femmina. Si devono tagliare due strisce da 7 terminali ciascuna per IC1, quattro da 8 terminali per IC2 e IC6, quattro da 10 terminali per IC3 e IC5, e due da 12 terminali per IC4, che devono essere saldate secondo l'ordine indicato. Successivamente si possono montare i condensatori di disaccoppiamento, da C1 a C6 tutti da 100 nF, nelle posizioni indicate sulla serigrafia dello stampato. Al termine si possono montare i connettori maschi per circuito stampato. Anche in questo caso si devono tagliare due strisce da 2 terminali ciascuna per i connettori CN4 e CN5, tre da 3 terminali, due per JP1 e una per JP2, e quattro da 10 terminali per i connettori CN2 e CN3. É consigliabile eseguire la loro saldatura secondo l'ordine indicato, cercando di mantenerli perpendicolari rispetto allo stampato. Per il montaggio di CN1 si deve incastrare la scheda tra le file di terminali del connettore, centrandoli rispetto alle isole di saldatura. Dopo aver verificato il corretto posizionamento è consigliabile saldare inizialmente i terminali più esterni per evitare che durante le operazioni successive si verifichino degli spostamenti indesiderati. Prima di inserire i circuiti integrati nei rispettivi zoccoli bisogna ricontrollare la correttezza delle saldature e l'assenza di cortocircuiti tra

Tutti i segnali di controllo del modulo di memoria sono presenti sul connettore CN2

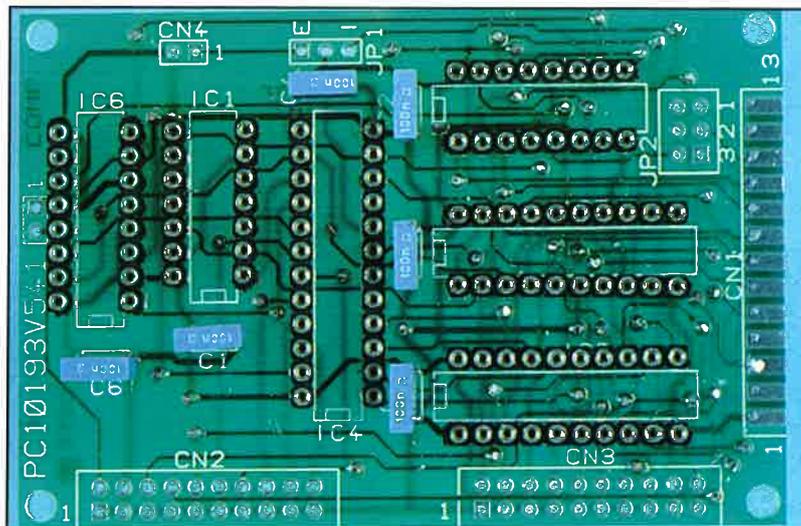
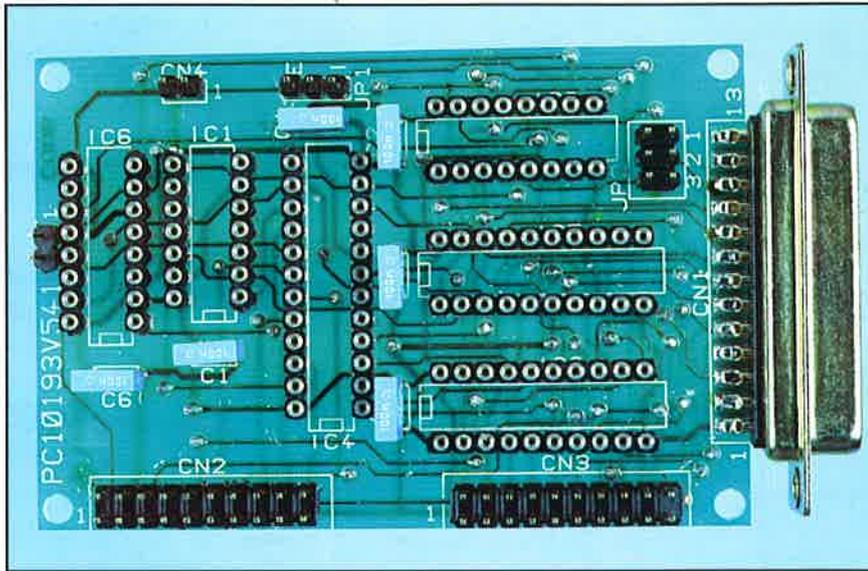
Le strisce di terminali femmina servono da zoccoli per i circuiti integrati

Il contatore provoca la fine del campionamento con il suo bit più significativo. La presenza del segnale di clock e di innesco viene memorizzata nei due bistabili

piste adiacenti. Tutti i circuiti integrati devono essere montati con l'orientamento e là posizione indicata sulla serigrafia.

FUNZIONAMENTO DELL'ANALIZZATORE

Dopo aver descritto il funzionamento dei tre circuiti che formano l'analizzatore, non rimane che vedere il loro comportamento quando vengono collegati assieme.

Quando si avvia il programma di controllo, e dopo aver resettato il bistabile di innesco e il contatore del modulo di controllo, si deve impostare l'analizzare nella modalità di acquisizione dati, segnale CIN a livello alto, CM e CRD a livello basso. In questo modo il segnale di clock viene inviato direttamente al contatore del modulo di memoria, e invertito al segnale di scrittura in memoria. Il buffer di lettura è chiuso e quello di ingresso aperto, in modo che i dati presenti in ingresso possano essere trasferiti al bus dati della memoria. In corrispondenza di ciascun fronte di discesa del segnale di clock il contatore della memoria subisce un incremento. Quando questo segnale passa

I condensatori di disaccoppiamento devono essere montati nelle posizioni indicate sulla serigrafia dello stampato

Prima di inserire i circuiti integrati nei relativi zoccoli bisogna verificare la correttezza di tutte le saldature

Il connettore CN1 deve essere perfettamente centrato rispetto alle sue isole di saldatura

a livello alto il segnale di scrittura in memoria si trova a livello basso, per cui i dati presenti sul bus vengono memorizzati nella posizione indicata dal contatore. Questo processo avviene in modo continuo finché non arriva l'ordine di fine campionamento. Se il modulo di innesco non è presente o non viene utilizzato e UPP è a livello basso, quando si attiva il comando di campionamento (CM a livello alto) il segnale di clock arriva direttamente al contatore del modulo di controllo. Quando raggiunge lo stato 128, il suo bit più significativo MEND commuta a livello alto interrompendo l'invio del clock a tutti i contatori. Se il modulo di innesco è presente (UPP a livello alto) il funzionamento è leggermente diverso. Quando il segnale CM commuta a livello alto, l'analizzatore continua ad operare in modalità di acquisizione dati finché il dato di ingresso coincide con quello memorizzato nel registro di confronto. In quel momento il segnale di innesco DIS viene trasferito al bistabile IC6A, in modo che l'uscita LDIS di quest'ultimo LDIS commuti a livello alto. Questo permette al segnale di clock di arrivare al contatore del modulo di innesco, che costringe il circuito ad operare nella modalità descritta in precedenza. Lo stato del segnale MEND viene verificato periodicamente dal calcolatore. Quando si trova a livello alto i segnali CM e CIN vengono commutati a livello basso e viene attivato il segnale di lettura, CRD a livello alto. Successivamente viene eseguita dal calcolatore una scrittura all'indirizzo secondario 3, CKA, che provoca un incremento del contatore del modulo di memoria. Eseguendo una lettura all'indirizzo secondario 4, RDB, si apre il buffer di lettura e vengono attivati i segnali di abilitazione e lettura della memoria; in questo modo il dato presente all'indirizzo indicato dal contatore del modulo di memoria viene letto dal calcolatore. L'operazione di avanzamento del contatore e di lettura viene eseguita 256 volte, in modo che tutta la pagina di memoria possa essere memorizzata nel calcolatore. Al termine del processo di lettura, e se non vengono eseguiti altri campionamenti, il sistema ritorna nella modalità di acquisizione. Nei paragrafi successivi verranno descritte le operazioni necessarie per collegare tra di loro i circuiti, e verrà analizzato il programma che consente il loro controllo.

Elenco componenti

Condensatori

C1-C6 = 100 nF multistrato

Circuiti integrati

IC1 = 74LS393 doppio contatore binario

IC2 = 74LS138, decodificatore 3:8

IC3 = 74HCT574, latch ad 8 bit

IC4 = PAL 20L8 (programmata PCS513)

IC5 = 74HCT541, buffer ad 8 bit

IC6 = 74LS76, doppio bistabile JK

Varie

Filo di rame stagnato

110 Terminali femmina per zoccoli

53 Terminali maschi per connettori e ponticelli

1 Connettore DB25 femmina a saldare

1 Circuito stampato PC10193V541

La PAL IC4 deve essere programmata in accordo con le equazioni descritte